

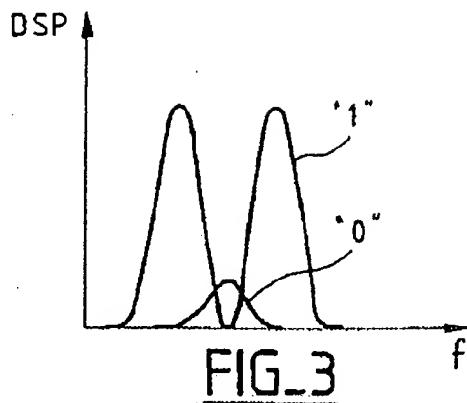
DEVICE FOR LIMITING NOISE AT 'ZERO' OF OPTICAL RZ SIGNAL**Publication number:** JP2001148668**Publication date:** 2001-05-29**Inventor:** PINCEMIN ERWAN; BIGO SEBASTIEN**Applicant:** CIT ALCATEL**Classification:**

- **international:** H04B10/04; H04B10/06; H04B10/142; H04B10/152; H04B10/18; H04L25/02; H04B10/04; H04B10/06; H04B10/142; H04B10/152; H04B10/18; H04L25/02; (IPC1-7): H04B10/152; H04L25/02

- **European:** H04B10/18S

Application number: JP20000292747 20000926**Priority number(s):** FR19990011991 19990927**Also published as:** EP1087555 (A1) US6456759 (B1) FR2799066 (A1) CA2317929 (A1)[Report a data error here](#)**Abstract of JP2001148668**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a device for limiting the noise at 'zero' of transmitted optical RZ signals in a soliton signal transmission system. **SOLUTION:** This device is composed of a double refraction fiber for mutually shifting the spectrums of signals corresponding to strength and a filter for filter-processing the shifted signals. The filter attenuates the pulses corresponding to 'zero' and makes the pulses pass through corresponding to '1'.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-148668

(P2001-148668A)

(43)公開日 平成13年5月29日 (2001.5.29)

(51) Int.Cl.⁷
H 04 B 10/152
10/142
10/04
10/06
H 04 L 25/02
3 0 3

識別記号

F I
H 04 L 25/02
H 04 B 9/00

マーク⁺ (参考)

3 0 3 A
L

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願2000-292747 (P2000-292747)
(22)出願日 平成12年9月26日 (2000.9.26)
(31)優先権主張番号 9911991
(32)優先日 平成11年9月27日 (1999.9.27)
(33)優先権主張国 フランス (FR)

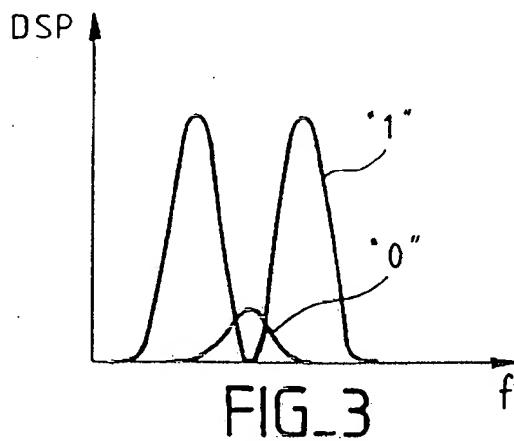
(71)出願人 391030332
アルカテル
フランス国、75008 パリ、リュ・ラ・ボ
エティ 54
(72)発明者 エルパン・パンスマン
フランス国、22290・ゴマネク、ケルヌベ
(番地なし)
(72)発明者 セバスチヤン・ビゴ
フランス国、91120・パレゾー、リュ・サ
ント・ジュヌビエーブ、17
(74)代理人 100062007
弁理士 川口 義雄 (外2名)

(54)【発明の名称】 光RZ信号の「ゼロ」におけるノイズを制限するための装置

(57)【要約】

【課題】 ソリトン信号伝送システムにおいて、伝送される光RZ信号の「ゼロ」におけるノイズを制限するための装置を提案する。

【解決手段】 強度に応じて信号のスペクトルを相互にシフトするための複屈折ファイバーと、シフトされた信号をフィルタ処理するためのフィルタとからなる。フィルタは、「ゼロ」に対応するパルスを減衰するが、「1」に対応するパルスは通過させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光RZ信号の「ゼロ」におけるノイズを制限するための装置であって、強度に応じて信号のスペクトルを相互にシフトするためのシフト手段(4)と、シフトされた信号をフィルタ処理するためのフィルタ(6)とからなり、値「ゼロ」に対応する信号にフィルタが加える減衰が、値「1」に対応する信号にフィルタが加える減衰を超える装置。

【請求項2】 値「ゼロ」に対応する信号にフィルタが加える減衰は、値「1」に対応する信号にフィルタが加える減衰よりも、少なくとも6dBだけ大きいことを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項3】 信号のスペクトルをシフトするためのシフト手段が、複屈折ファイバーからなることを特徴とする請求項1または2に記載の装置。

【請求項4】 ファイバーが、 1×10^{-5} 以上の複屈折を有することを特徴とする請求項3に記載の装置。

【請求項5】 フィルタが、光RZ信号の中央周波数を中心を合わせた帯域阻止フィルタであることを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記載の装置。

【請求項6】 さらに増幅器(2)を備え、増幅器の出力はシフト手段に結合されることを特徴とする請求項1から5のいずれか一項に記載の装置。

【請求項7】 フィルタの後段に第2の複屈折ファイバー(8)をさらに備え、第2の複屈折ファイバーは、第1の複屈折ファイバーに対して一直線上に配置された偏光軸を備えて配置されることを特徴とする請求項3から6のいずれか一項に記載の装置。

【請求項8】 光RZ信号の「ゼロ」におけるノイズを制限するための方法であって、

- 強度に応じて信号のスペクトルを相互にシフトするステップと、
- 値「ゼロ」に対応する信号にフィルタが加える減衰が、値「1」に対応する信号にフィルタが加える減衰を超えるように、シフトされた信号をフィルタ処理するステップとを含む方法。

【請求項9】 値「ゼロ」に対応する信号にフィルタが加える減衰が、値「1」に対応する信号にフィルタが加える減衰よりも、少なくとも6dBだけ大きいことを特徴とする請求項8に記載の方法。

【請求項10】 シフトするステップが、複屈折ファイバーへの信号の投入を含むことを特徴とする請求項8または9に記載の方法。

【請求項11】 ファイバーが、 1×10^{-5} 以上の複屈折を有することを特徴とする請求項10に記載の方法。

【請求項12】 シフトするステップの前に、信号の増幅ステップをさらに含むことを特徴とする請求項8から11のいずれか一項に記載の方法。

【請求項13】 フィルタ処理するステップの後に、信

号の複屈折ファイバー内の通過ステップをさらに含むことを特徴とする請求項10、11または12に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバー伝送の領域に関し、特に、光ファイバー伝送システム用の光学再生に関する。本発明は特に、たとえばソリトン信号伝送システムのような、RZ(ゼロ復帰)信号伝送システムに適用される。伝送される高い論理値に対応するRZ信号を、パルスまたは「1」と呼ぶ。伝送される低い論理値に対応する信号の欠如を、「ゼロ」と呼ぶ。

【0002】

【従来の技術】異常分散の光ファイバー部分における、ソリトンパルスまたはソリトンの伝送は周知の現象である。ソリトンは、 $sech^2$ 形のパルス信号である。この形のパルスにより、ファイバーの対応部分における非線形が、光信号の分散を補正する。ソリトンの伝送は、非線形シュレーディング方程式により知られている方法でモデル化されている。また、分散管理されたソリトン信号伝送システム(「dispersion-managed solitons transmissions」)も提案されている。このようなシステムでは、数千キロメートルにわたって周期的に繰り返される分散パターンが使用される。すなわち、異常分散(正の分散)ファイバーに続く正常分散(負の分散)ファイバーが、第1のタイプのファイバーで蓄積される異常分散のほぼ全体を補償する。従って、信号は、局部的な分散が非常に大きいファイバーに伝播されるが、最終的に確認される平均的な分散は、非常に小さいものだけである。このような伝送構成により、(平均的な分散が小さいので)ジッタの影響を著しく低減し、(局部的な分散が大きいので)チャンネル間の衝突の影響を明らかに減らし、SN比を改善し、システムのスペクトル効率を上げることができる。こうしたシステムは、たとえばN. J. SmithおよびN. J. Doranによる論文(Journal of Lightwave Technology, 第15巻第10号(1997年)1808頁以下)に記載されている。

【0003】クロック信号またはクロックにより、ソリトン信号の同期変調を使用して、その時間ジッタを補正することが提案された。強度変調は、たとえばH. KubotaとM. Nakasawaの論文(IEEE Journal of Quantum Electronics, 第29巻第7号(1993年)2189頁以下)に記載されている。またN. J. SmithおよびN. J. Doranの論文(Optical Fiber Technology, 1, 218頁(1995年))は、位相変調を提案している。

【0004】光ファイバー伝送システムで遭遇する問題

の1つは、光信号が発生、伝送またはスイッチングされるときに、あるいは、より一般的には伝送システムにおける光処理のたびに、光信号がひずみを被ることにある。強度変調による光再生は、各ビットに、このビットのタイムスロットの中央で強度が最大で、タイムスロットの縁で強度が小さい信号を付与することにより、こうしたひずみの問題を解決することをめざしている。

【0005】しかしながら、強度変調は、特にRZ信号の「ゼロ」で完全に満足できる解決方法を提供するわけではない。「ゼロ」におけるノイズ、すなわちゼロのビットまたは無信号のビットに対応するタイムスロット内のノイズは、特に大洋伝送システムの場合、完全に削除されることはない。

【0006】C. R. Menyukによる「*Stability of solitons in birefringent optical fibers. I: Equal propagation amplitudes*」(Optics Letters、第12巻第8号1987年8月)は、単一モードファイバーにおけるソリトン伝播に対する複屈折効果のモデルを提案している。複屈折、すなわち光ファイバーの2つの偏光方向間の光学屈折率の差は、1個のソリトンパルスを、2つの偏光方向に沿って異なる速度で伝播する2個のパルスに分離する。C. R. Menyukの論文は、一定のパワーを越えると、カーポー効果のため、2つの偏光方向に沿って伝播するソリトン間の位相混変調により、ソリトンパルスが時間的に安定化することを示している。その場合、2つの偏光方向に沿ったパルス相互の時間トラッピングがみられる。かくして一定の振幅を越えると、2つの偏光方向に沿ったパルスが一緒に移動するようになる。閾値振幅は、ファイバーの複屈折に依存する。

【0007】N. N. Islamによる「*Solitons trapping in birefringent optical fibers*」(Optics Letters、第14巻第18号1989年9月)は、複屈折光ファイバーで直交偏光されるソリトンのトラッピングの実験による証明を提案している。こうした実験による証明は、前記C. R. Menyukの論文に示された結果を立証している。

【0008】N. S. Islamによる「*Ultrafast all-optical logic gates based on solitons trapping in fibers*」(Optics Letters、第14巻第18号1989年11月)は、排他的ORまたはANDといった反転機能を備える論理ゲートを実現するために、複屈折ファイバーで直交偏光されるソリトンのトラッピングを使用している。ゲートは、ファイバーの偏光方向の1つに沿ってそれぞれ偏光されるソリトンを、入力で受信する。ゲートは、ソリトンのトラッピングが、偏光方向に沿って移動するソリト

ン間の時間的に一致することを利用している。スペクトルでは、トラップされた2個のパルスが、約1 THz、すなわち1550 nmで約8 nmだけ周波数移動される。ファイバーの出力フィルタは、このような周波数移動を受けたソリトンを除去し、排他的ORゲートを得ることができるようになり、周波数移動を受けなかったソリトン、すなわち複屈折ファイバーを伝播するソリトンだけが、フィルタを通過する。ソリトンの初期周波数0.5 THzまたは1 THzのフィルタは、ANDゲートを得ることができる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、伝送「ゼロ」におけるノイズの問題への解決方法を提案する。本発明は特に、ソリトン信号伝送システムに関する。

【0010】

【課題を解決するための手段】より詳しくは、本発明は、光RZ信号の「ゼロ」におけるノイズを制限するための装置を提案するものであり、強度に応じて信号のスペクトルを相互にシフトするためのシフト手段と、シフトされた信号をフィルタ処理するためのフィルタとからなり、値「ゼロ」に対応する信号にフィルタが加える減衰が、値「1」に対応する信号にフィルタが加える減衰を超える。

【0011】実施形態では、値「ゼロ」に対応する信号にフィルタが加える減衰は、値「1」に対応する信号にフィルタが加える減衰よりも、少なくとも6 dBだけ大きい。

【0012】好適には、信号のスペクトルをシフトするためのシフト手段は、複屈折ファイバーからなる。このファイバーは、 1×10^{-5} 以上の複屈折を有することができる。

【0013】実施形態では、フィルタは、RZ信号の中央周波数を中心を合わせた帯域阻止フィルタである。

【0014】この装置はさらに増幅器を備えることができ、増幅器の出力はシフト手段に結合される。

【0015】またフィルタの後段に、第2の複屈折ファイバーを備えることができ、この第2の複屈折ファイバーは、第1の複屈折ファイバーに対して一直線上に配置された偏光軸を備えて配置される。

【0016】本発明はまた、光RZ信号の「ゼロ」におけるノイズを制限するための方法を提案するものであり、- 強度に応じて信号のスペクトルを相互にシフトするステップと、- 値「ゼロ」に対応する信号にフィルタが加える減衰が、値「1」に対応する信号にフィルタが加える減衰を超えるように、シフトされた信号をフィルタ処理するステップとを含む。

【0017】好適には、値「ゼロ」に対応する信号にフィルタが加える減衰が、値「1」に対応する信号にフィルタが加える減衰よりも、少なくとも6 dBだけ大きい。

【0018】実施形態では、シフトするステップが、複屈折ファイバーへの信号の投入を含む。好ましくは、このファイバーは、 1×10^{-5} 以上の複屈折を有する。

【0019】さらに、シフトするステップの前に、信号の増幅ステップを含んでもよい。

【0020】実施形態では、この方法は、フィルタ処理するステップの後に、信号の複屈折ファイバ内の通過ステップをさらに含む。本発明の他の特徴および長所は、添付図面に関して例として挙げた本発明の実施形態の下記説明を読めば明らかになるであろう。

【0021】

【発明の実施の形態】本発明は、ゼロにおけるノイズを低減するために、フィルタ処理を適用する前に、強度に応じてRZ信号間のスペクトルをシフトすることを提案する。スペクトルのシフトおよびフィルタは、「1」に対応するパルスがフィルタを通過するように、また「ゼロ」の振幅をフィルタが減らすように選択される。かくして本発明は、「ゼロ」におけるノイズを著しく低減することができる。パルスに対して強度に応じてスペクトルシフトを適用するため、本発明は、複屈折ファイバーの偏光方向に沿って伝播されるパルスのトラッピングの利用を提案する。前述のように、このトラッピングは、一定の強度閾値を超えてからでしか現れない。

【0022】図1は、RZ信号のパルスのスペクトル構成を示す図である。横座標には周波数が記され、縦座標にはパワースペクトル密度が記されている。一般に、RZ信号に対し、「1」は、強度の強い頂点をもつパルスにより符号化され（図では細い線で示されている）、「ゼロ」は、パルスの欠如により符号化される。しかしながら太線で図が示すように、「ゼロ」では、強度が弱い頂点を持つパルスが現れる。本発明の目的の1つは、前述のように、これらの頂点の強度をさらに低減することにある。

【0023】図2は、本発明による装置の概略的な構成を示している。この図は主に、RZ信号を強度に応じて相互にスペクトルシフトするための手段4を含み、この手段4の出力で供給される信号が、フィルタ6に伝送される。図1の実施形態では、シフト手段4の前段に増幅器2が、フィルタの後段に、フィルタ処理されたパルスのスペクトルをシフトするための手段8が、さらに設けられている。増幅器は、それ自体知られているタイプの増幅器である。フィルタの構造については後述する。

【0024】シフト手段4は有利には、複屈折ファイバーを含んでおり、このファイバー内で、信号は、2等分線の方向、すなわち2つの偏光方向をほぼ2等分する方向に投入されて、2つの偏光方向に沿って伝播されるパルスを発生する。このファイバーは、有利には、 1×10^{-5} 以上の複屈折を有する。

【0025】先に説明したように、入力パルスが一定の強度未満であると、2個のパルスが異なる速度で伝搬さ

れるので、偏光方向に沿ったファイバーの出力では、時間的にシフトされて、スペクトルが入力RZ信号の周波数にある2個のパルスが得られる。

【0026】反対に一定の強度を超えると、カーポロ効果により、2つの偏光方向に沿ってパルスのトラッピングが行われる。ファイバーの出力におけるパルスは、時間的に一致するが、スペクトルはシフトされる。

【0027】複屈折ファイバーの適切な選択、ならびに、場合によっては増幅器2による信号の予備増幅により、「ゼロ」に対応する信号が複屈折ファイバーでトラッピングを受けないようにし、「1」に対応する信号がトラッピングを受けるようにすることができる。対応する強度閾値は、上記のC. R. MenyukおよびM. N. Islamの論文に記載されている。複屈折ファイバーにおける相互トラッピングを確保するのに必要な強度は、複屈折ファイバーに投入されるパルスのスペクトルおよび時間位置を分析することにより、実験から容易に決定可能である。

【0028】たとえばファイバーは、以下の特徴を備えることができる。

【0029】
 - 分散: 8.75 ps/nm/km
 - 複屈折: 2.4×10^{-5}
 - 長さ: 20m
 - 断面積: $50 \mu\text{m}^2$

このファイバーは、「1」に対応するパルスに対して、少なくとも 1 THz のスペクトルシフトを実現することができる。このようなファイバーでは、2つの偏光方向に沿った1個のパルスの諸成分をトラッピングするための閾値強度が、 42 pJ になる。必要なパワーはたとえば、ファイバー4の前段に配置される増幅器によって得られる。これらの値は、時間幅が約300フェムト秒のパルスに対して与えられる。

【0030】ソリトンパルスの場合、複屈折ファイバーの選択は、また以下を考慮することにより実施可能である。すなわち、複屈折ファイバーでスペクトルを2分する原理は、このファイバー区間における伝播の非線形に基づいている。以下の比例関係を持つ2つの式が、プロセスの基本にある。

【0031】 $Z_0 \sim T^2 / (\lambda^2 \cdot D)$

$P_0 \sim \lambda \cdot S_{eff} / Z_0$

ここで、 Z_0 は、ソリトン期間、 P_0 は、ソリトンパワー、 T は、パルスの時間幅、 λ は、パルスの波長、 D は、ファイバーの分散、 S_{eff} は、ファイバーの断面積である。

【0032】以上の式を考慮すると、所望のトラッピング特性を保持しながら、ファイバーまたはパルスの諸特性を変えることが可能である。たとえば、ファイバーの断面積 S_{eff} を $1/2$ に減少すると（例えば $50 \mu\text{m}^2$ から $25 \mu\text{m}^2$ ）、ファイバー区間に投入される閾値パワーにわたる制約を、同じく $1/2$ にゆるめることができる。

できる。つまり、上記のファイバーの例では、各主軸に $21 \mu J$ を投入可能になる。

【0033】同様に、ファイバーの長さに関する制約をゆるめたい場合は、 Z_0 を減少し、従って、パルスTの時間幅を狭めるか、あるいはファイバーの分散Dを大きくしなければならない。だが、それと平行して、投入パワーを増加するか、あるいは複屈折ファイバーの断面積 S_{eff} を減らすことも必要である。また、他のパラメータを相関的に制御するために、パルスの時間幅（前記式の値T）を変えることも可能である。

【0034】いずれの場合も、この現象の非線形性、従って上記の分析的な2つの式により、制御される。かくして、投入パワーは断面積に比例し、ソリトン期間 Z_0 に反比例する。換言すれば、投入パワーは分散に比例し、パルスの時間幅の二乗に反比例する。

【0035】従って、複屈折ファイバーの長さは、好適には Z_0 の約数であり（一般には5または6）、パルスの幅の二乗に比例して、分散に反比例する。本発明が使用する現象の強度が、ファイバーの複屈折に比例することもまた自明である。

【0036】こうした考察は、使用されるパルスを考慮して、ファイバーの特性を決定する場合に用いることができる。

【0037】図3は、複屈折ファイバーの出力で、図1のスペクトルに対応するスペクトルの概略的な構成を示す図である。周波数がシフトされた2個の同期パルスのスペクトルを細い線で示している。これらのパルスは、図1の「1」に対して得られる。また、図1のゼロに対応する、2個のパルスの一方を太線で示した。

【0038】本発明は、「ゼロ」と「1」との間のスペクトルシフトを利用して、「ゼロ」におけるノイズをフィルタ処理することを提案している。このため、複屈折ファイバーの出力に、「ゼロ」をフィルタ処理するためのフィルタ6を設けた。このフィルタは、たとえば、帯域阻止フィルタであり、複屈折ファイバーに加えられるRZ信号の周波数に中心を合わせられており、言い換えれば「1」のスペクトルシフトパルスを通過させるような幅を有する。たとえばフィルタ幅の二分の一の高さは、0.4 THzを選択することができる。この場合、「ゼロ」に対応するパルスに加えられる減衰は、「1」に対応するパルスに加えられる減衰よりも、少なくとも6 dBだけ大きい。帯域阻止フィルタの出力では、光ファイバーに投入される各「1」に対して、スペクトルシフトした2個の同期パルスが回収される。

【0039】この場合、フィルタの後に、フィルタ処理されたパルスのスペクトルを調整するための手段8を設けることが依然として可能である。このために、第1のファイバーと一直線に揃えられるが、第1のファイバーに対して反転した偏光軸を備える、複屈折ファイバーの第2の区間を使用できる。単に、同一ファイバーの同じ

長さの区間を選択して、偏光軸を 90° シフトすることもできる。スペクトルシフトされた2個の同期パルスは、この第2のファイバーに投入される。「リバースライトリターン (reverse light return)」という光学的に周知の原理によれば、スペクトルをシフトした2個の同期パルスは、これらのパルスが第2のファイバーに投入されるとき、単一パルスの形状で現れ、その特徴は、第1のファイバーに入る最初のパルスの特徴にあらゆる点で類似している。

【0040】こうしたパルスのスペクトルの調整は、先に説明したように、ファイバーの第2の区間の幾何学的な位置によって得られるか、あるいは、分散および複屈折が相違する異なった第2のファイバー区間を選択することにより得られる。ファイバー8の出力は、いずれにしても、第1のファイバーに入る最初のパルスの特徴を備えるパルスを供給する。

【0041】また、ハイパスまたはローパスフィルタを、複屈折ファイバーの出力で使用してもよく、このフィルタは、入力信号の中央周波数を中心として信号を減衰し、偏光方向の1つに従ってトラップされる信号を通過させるものである。上記の実施形態と異なる点は、この場合、シングルパルス列だけを回収し、ダブルパルス列を回収しないことにある。最初のパルス列に比べて、出力で回収されるパルス列は、周波数がシフトしている。

【0042】図4は、RZパルスの概略的な構成を示している。横座標には時間、または伝送システムに沿った波長を記し、縦座標には強度を記した。この図は、伝送値が図の右から左に、順次1、0、1、1、0である5個のビットを示している。前述のように図4では、信号「ゼロ」におけるノイズ、すなわち「ゼロ」に対応するタイムスロットで、ゼロでない信号が認識される。

【0043】図5は、パルスを再結合するためのファイバー8を備えた、本発明による装置を通る図4のパルス列の通過結果を概略的に示している。軸の座標は図4と同じである。図示されているように、「1」に対応する強度の強いパルスは、本発明の装置を通っても変わっていない。反対に、「ゼロ」に対応する強度の弱いパルスは、図5に太線で示したように、この装置を通った後で強度がほぼゼロになる。

【0044】従って、本発明の装置の出力で得られるRZ信号は、入力信号と内容が同じであるが、「ゼロ」のノイズは消去されるか、あるいは著しく低減されている。

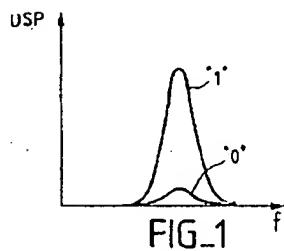
【0045】もちろん本発明は、説明および図示した例および実施形態に制限されるものではなく、当業者が検討できる多数の変形実施形態を含む。かくして、C. R. MenyukおよびM. N. Islamの論文は、ソリトン信号の場合を言及しているが、本発明は、複屈折ファイバーの偏光方向に沿った諸成分が、ソリトン同

様に、位相混変調によりトラップ可能な、他のタイプのRZ信号にも適用される。

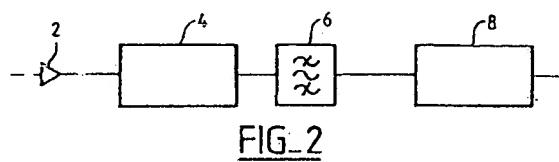
【0046】さらに、複屈折ファイバーの入力パルスの強度やファイバーの複屈折の値は、例として挙げたに過ぎない。所定の伝送システムで「ゼロ」を「1」から区別するように、異なる値を選択することもできる。このような場合、ファイバーの複屈折および他の特徴は、実施するスペクトルシフトに応じて選択可能である。その場合、「1」に対応するパルスの強度は、「1」の相互トラッピングを行うように選択される。閾値は、投入されるパルスの時間およびスペクトル位置を測定することにより、当業者が実験的に決定可能である。

【図面の簡単な説明】

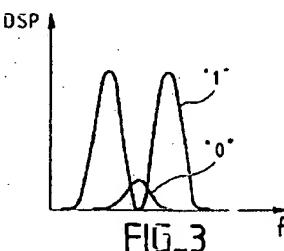
【図1】



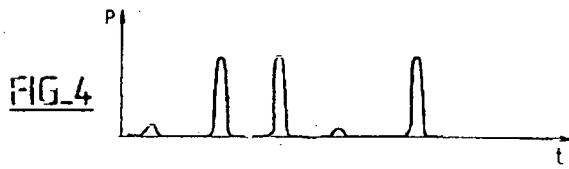
【図2】



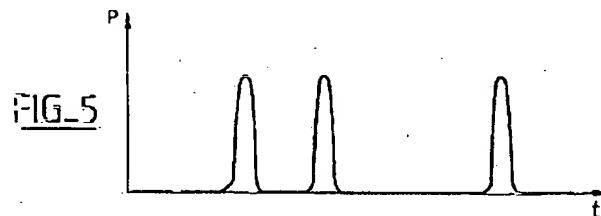
【図3】



【図4】



【図5】



【図1】RZ信号のパルスのスペクトルの概略図である。

【図2】本発明による装置の概略図である。

【図3】複屈折ファイバーを通過後の、図1の信号のスペクトルの概略図である。

【図4】RZパルスの概略図である。

【図5】本発明の装置の出力における対応パルスの概略図である。

【符号の説明】

2 増幅器

4 シフト手段

6 フィルタ

8 第2の複屈折ファイバー